# Pérdida de suelo por erosión hídrica en la cuenca del lago de Chapala, Michoacán, México

• José Teodoro Silva-García* • Gustavo Cruz-Cárdenas •
• Salvador Ochoa-Estrada • Francisco Estrada-Godoy •
• Jaime Nava-Velázquez • Dioselina Álvarez-Bernal •
*Instituto Politécnico Nacional, Jiquilpan, México*
*Autor para correspondencia

DOI: 10.24850/j-tyca-2017-06-08

## Resumen

Silva-García, J. T., Cruz-Cárdenas, G., Ochoa-Estrada, S., Estrada-Godoy, F., Nava-Velázquez, J., & Álvarez-Bernal, D. (noviembre-diciembre, 2017). Pérdida de suelo por erosión hídrica en la cuenca del lago de Chapala, Michoacán, México. *Tecnología y Ciencias del Agua*, *8*(6), 117-128 DOI: 10.24850/j-tyca-2017-06-08.

Se cuantificó para la cuenca del lago de Chapala, porción Michoacán, México, la pérdida de suelo por erosión hídrica, utilizando como método de medición las parcelas de escurrimiento. Un total de 18 de ellas se instalaron por los principales usos de suelo presentes en la región: pastizal, agricultura de riego y de temporal, bosque de encino y matorral subtropical. Se realizó un muestreo mensual durante el periodo de lluvias que abarcó los meses de agosto-octubre de 2012. La mayor pérdida de suelo se presentó donde se desarrolla la agricultura de temporal con 630.7 kg ha$^{-1}$, seguido de los pastizales con 87.9 kg ha$^{-1}$ y en menor cantidad el bosque de encino con 3.9 kg ha$^{-1}$. Considerando todos los usos de suelo, en total la pérdida de suelo en la zona de estudio fue de 6 593 t ha$^{-1}$ año$^{-1}$, siendo mayor en las áreas de cultivo de temporal con 4 019 t ha$^{-1}$ año$^{-1}$. La materia orgánica fue uno de los componentes del suelo que más se perdieron durante el proceso de erosión hídrica, obteniendo valores de 24.5 y 5.1 kg ha$^{-1}$ para cultivos de temporal y pastizales, respectivamente. Los macronutrientes medidos en el sedimento igualmente presentaron una correlación con el factor anterior; los máximos valores para N, P y K se registraron en la agricultura de riego con 0.9, 0.1 y 2.1 kg ha$^{-1}$, respectivamente.

**Palabras clave**: azolvamiento, uso de suelo, agricultura sustentable.

## Abstract

*Silva-García, J. T., Cruz-Cárdenas, G., Ochoa-Estrada, S., Estrada-Godoy, F., Nava-Velázquez, J., & Álvarez-Bernal, D. (November-December, 2017). Loss of soil from water erosion in the basin Chapala Lake, Michoacan, Mexico.* Water Technology and Sciences *(in Spanish), 8(6), 117-128, DOI: 10.24850/j-tyca-2017-06-08.*

*Runoff plot measurements were used to quantify the loss of soil due to water erosion for the Chapala Lake basin, a portion of Michoacan, Mexico. A total of 18 runoff plots were installed which contained the main soil uses that are present in the region: pasture, irrigated crops, seasonal crops, oak forest, and sub-tropical brush. Monthly sampling was performed during the rainy period, from August to October 2012. Most of the loss in soil occurred on plots with seasonal farming, with 630.7 kg ha-1, followed by pastures with 87.9 kg ha-1, and to a lesser extent, oak forest with 3.9 kg ha-1. Taking all of the soil uses together, the total soil loss in the study area was 6 593 t ha-1 year-1, and was greater in areas with seasonal crops, with 4 019 t ha-1 year-1. Organic matter was a soil component with the greatest loss during the water erosion process, with values between 24.5 and 5.1 kg ha-1 for seasonal crops and pastures, respectively. The macronutrients measured in the sediment also were found to be correlated with the previous factor; the highest N, P, and K values recorded correspond to irrigation crops, with values of 0.9, 0.1 and 2.1 kg ha-1, respectively.*

***Keywords**: Dusting, soil use, sustainable agriculture.*

Recibido: 09/05/2016
Aceptado: 20/06/2017



## Introducción

La degradación del suelo en el ámbito mundial constituye uno de los problemas ambientales más severos, ya que alrededor del 80% de la superficie del planeta presenta este fenómeno, originado tanto por causas naturales como antropogénicas (FAO, 1980). La erosión hídrica es la forma más común de degradación del suelo.

El proceso consiste en el desprendimiento, transporte y depositación de las partículas del suelo ocasionada por la lluvia; el mecanismo inicia con el golpeteo de las gotas de lluvia y una vez que la capacidad de infiltración y de almacenamiento superficial está saturada, comienza el escurrimiento, arrastrando las partículas sueltas y las que su fuerza misma desprende; el mecanismo concluye cuando se deposita el material erosionado, también llamado sedimento (Sturm, 2001).

Cada año los ríos acarrean al océano más de 24 mil millones de toneladas de tierra cultivable; si se juntara todo el suelo que ha sido arrastrado por la erosión hídrica en el mundo en los últimos 20 años, equivaldría a toda la capa de suelo cultivable de los terrenos agrícolas de Estados Unidos. Por lo general, la degradación de suelos es más severa en los países en vías de desarrollo, aunque también en países desarrollados (GACGC, 1994).

Cottler, en 2011, menciona que la erosión hídrica de los suelos ocasiona impactos tanto en la parcela (*in situ*), como fuera de ella (*off situ*) que han sido ampliamente documentados, a través de temas como la disminución de la productividad de los suelos degradados (Pimentel, Allen, & Beers, 1993; Stocking, 2003; Tengberg, Stocking, & Dechen, 1998) la pérdida de suelo y nutrientes (Martínez-Casasnova & Ramos, 2006; Maass, Jordan, & Sarukhan, 1988) y por las consecuencias ambientales ocasionadas por la pérdida de servicios ecosistémicos brindados por los suelos (Barrios, 2007; Hodgson & Dixon, 1988).

La reducción de estas tierras para cultivo tiene impactos negativos en la disponibilidad de la producción de alimentos a nivel mundial y lo convierte en un problema de seguridad alimentaria (Pimentel, 2006).

En México, las zonas afectadas por erosión hídrica alcanzan el 11.8% del territorio nacional (Semarnat-CP, 2003). Desde 1983 se estimaba que 43% de los suelos de México había perdido de 25 a 75% de su capa arable y su productividad había disminuido en 33% (García, 1983; Vázquez, 1986). Los estados que presentan una mayor proporción de su superficie afectada por este tipo de erosión son Guerrero (31.5%), Michoacán (26.5%) y el Estado de México (24.7%). En contraste, los estados que no mostraron efectos por la erosión hídrica son Campeche, Yucatán y Quintana Roo (Semarnat-CP, 2003).

La perturbación que ocasiona al ambiente la erosión del suelo tiene que ver, entre otros factores, con la depositación, disminución de la fertilidad del suelo y afectaciones a la hidrología de una cuenca, lo que provoca inundaciones y problemas en la ecología de los ecosistemas existentes (Vanmaercke, Poesen, Maetens, De Vente, & Verstraeten, 2011). Los depósitos comúnmente tienen altas concentraciones de fósforo, provenientes de la materia orgánica del suelo erosionado y de los fertilizantes empleados en la agricultura; este elemento se transporta a través de las escorrentías y ríos hasta llegar a los lagos, ocasionando contaminación difusa (Owens, Petticrew, & Van der Perk, 2011).

Otro problema es el impacto de la erosión hídrica sobre la dinámica del carbono, ya que un porcentaje del carbono orgánico del suelo erosionado se mineraliza y es emitido a la atmósfera, causando la aceleración del efecto invernadero (Lal, 2003). Además tiene impactos negativos en las propiedades químicas del suelo, al disminuir su fertilidad debido a la pérdida de los nutrientes (Duran & Rodríguez, 2008).

La biodiversidad, en especial de plantas, también es afectada por la erosión del suelo. El detrimento se refleja en la pérdida de especies debido a que son incapaces de adaptarse o dispersarse en condiciones edáficas no favorables (Pimentel, 2006).

La cuenca del lago de Chapala, porción Michoacán, ha sufrido en los últimos 20 años un cambio de uso de suelo extensivo, provocando la aceleración de los procesos erosivos, que coadyuvan, por una parte, en la pérdida de propiedades físico-químicas de sus suelos y, por otra parte, al proceso de azolvamiento del vaso del lago por acumulación de sedimentos (Tapia *et al*., 2012).

Debido a la importancia de la región en el aspecto social, económico y ambiental, este





• ISSN 0187-8336

estudio se enfocó a cuantificar la pérdida de suelo y algunas propiedades físico-químicas por el proceso de erosión hídrica, obteniendo datos acerca de este proceso, con lo cual sea viable impulsar algunas medidas de conservación de suelo.

## Materiales y métodos

### *Área de estudio*

La cuenca del lago de Chapala, porción Michoacán, comprende los municipios de Marcos Castellanos, Cojumatlán de Regules, Sahuayo, Venustiano Carranza y Briseñas (figura 1). Cuenta con una superficie de 1 147 km$^2$ y presenta una altitud entre los 1 520 y 2 560 metros. Se localiza en el sector occidental de la Faja Volcánica Transmexicana (FVTM), uno de los arcos volcánicos más relevantes de México, y de manera particular se ubica en el extremo oriental del rift de Chapala. Localmente, las principales unidades litológicas están compuestas por rocas volcánicas del Mioceno Tardío, depósitos lacustres, material volcánico y sedimentos del cuaternario.

### *Clima*

Predomina en la región el semicálido subhúmedo (A)C(wo) y el templado subhúmedo C(w1), con lluvias en verano, con un porcentaje de precipitación invernal menor de 5%, siendo marzo el mes que registra la menor precipitación (40 mm) y julio la máxima de 1 930 mm. El primero se presenta en la zona conocida como Ciénega de Chapala (1 550 msnm) y el segundo en las partes altas (García, 1988). El rango de escurrimiento superficial esta entre 10 y 20%, siendo la temperatura promedio anual de 18 °C.

### *Suelos*

Los suelos predominantes son vertisoles, arcillosos con pH tendiente a la alcalinidad; feozems, con alta saturación de bases y contenido de materia orgánica en el horizonte superficial mayor a 1%; luvisoles, suelos que se localizan en la parte alta de la zona de estudio, también arcillosos, pero con pH ligeramente ácido, que concuerda con lo reportado en la base referencial del recurso suelo (IUSS Working Group, 2006; INEGI, 2016) (figura 2).

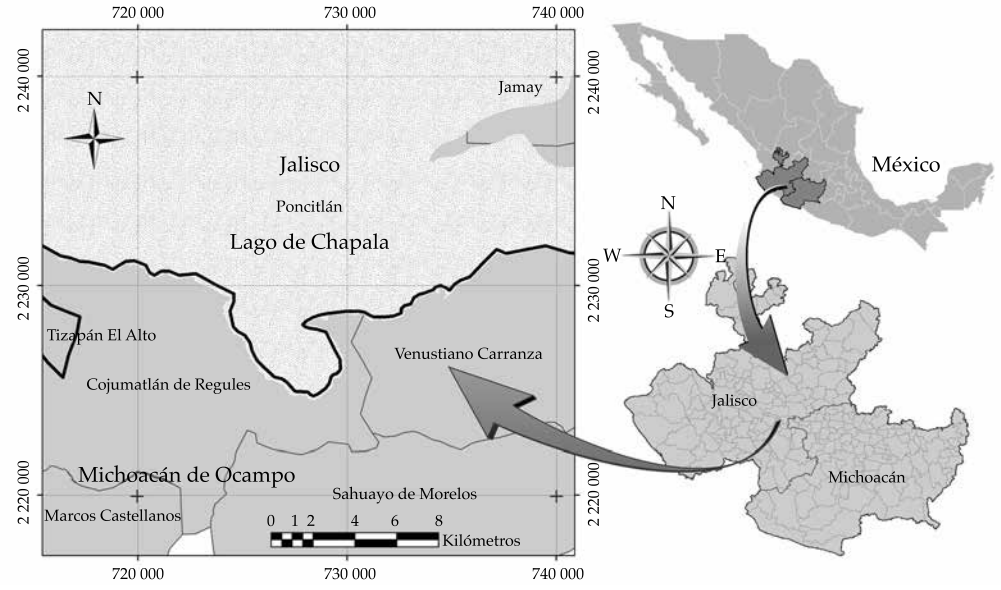


Figura 1. Localización del área de estudio. Cuenca del lago de Chapala, porción Michoacán, México.





ISSN 0187-8336 •

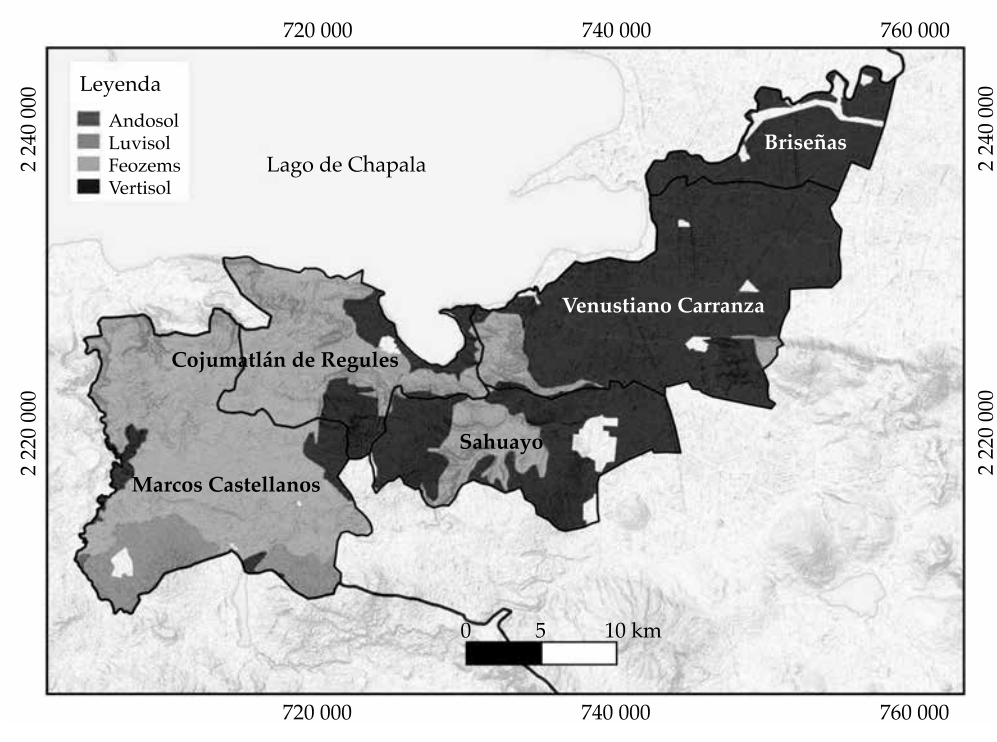


Figura 2. Unidades de suelos de acuerdo con la base referencia del suelo (INEGI, 2016).



### *Uso de suelo y vegetación*

El mapa de uso de suelo y vegetación (MUSV) se generó mediante técnicas de clasificación supervisada y datos de sensores remotos para estimar la cantidad de suelo que se pierde por tipo de vegetación en la superficie de la cuenca. Se empleó una imagen del sensor TM (*Thematic Mapper*) del satélite Landsat del 31 de enero de 2009, a la cual se le aplicaron correcciones atmosféricas por el método de sustracción de objetos oscuros (Chávez, 1989).

Se utilizaron todas las bandas para la clasificación (excepto la termal) debido a que dieron la mejor separación de clases de acuerdo con distancias de Jeffries-Matusita; se empleó el modelo digital de elevación, con el propósito de mejorar los resultados de la clasificación (Cruz-Cárdenas *et al*., 2010).

El criterio *30 p* se usó para seleccionar el tamaño de muestra y entrenar al algoritmo; consiste en tomar 30 píxeles por el número de bandas o capas *(p)* que intervienen en su clasificación (Foody, Mathur, Sanchez-Hernandez, & Boyd, 2006). El clasificador que se empleó fue máxima verosimilitud, que calcula la probabilidad de un pixel de pertenecer al grupo de pixeles que conforman una clase. El pixel es asignado a la clase con más alta probabilidad. Se recurrió a la matriz de confusión para calcular la exactitud global del MUSV (Congalton, 1988).

### *Cuantificación de pérdida de suelo*

Se utilizó como unidad de medición las parcelas de escurrimiento. El procedimiento constructivo se menciona en el *Manual de conservación de suelo y agua* del Colegio de Postgraduados (1979), que considera lo siguiente:

- Las parcelas son delimitadas y aisladas con láminas galvanizadas de 3 x 0.4 m, fijadas al suelo, sobresaliendo aproximadamente 30 cm de la superficie; las parcelas están


• ISSN 0187-8336

compuestas, además de su zona de escurrimiento, por un sistema colector del sedimento con base en un tambo de 100 l, al cual se le ha retirado el fondo, colocando en él una malla plástica mosquitera que se fija al tambo con un cinturón metálico, cuyo propósito es retener los sedimentos presentes en el agua escurrida. La ubicación del mismo es la parte baja de la parcela de escurrimiento, donde se concentra la escorrentía en favor de la pendiente (figura 3).

- Se utilizaron como herramientas adicionales una espátula y una brocha de pintor, a fin de colectar la totalidad de sedimentos, siendo vaciados en bolsas de plástico e identificados para su transportación.
- Se recogió el sedimento acumulado de manera mensual durante el periodo agosto-octubre de 2012, obteniendo con ello el total para el periodo de lluvias. Los sedimentos se pesaron en una balanza analítica del laboratorio de suelos y aguas del CIIDIR IPN Unidad Michoacán; se tomó una muestra de 100 g de suelo para determinar su humedad utilizando una estufa durante 12 horas a 60 °C, restando el peso inicial con el final, obteniendo el peso seco. Con el sedimento acumulado en los tres muestreos se cuantificó el arrastre total por cada una de las parcelas de escurrimiento, expresado en t $ha^{-1}$.
- Finalmente, se realizaron las correspondientes determinaciones en los sedimentos de materia orgánica nitrógeno, fosforo, potasio, calcio, magnesio y sodio (NOM-021-RECNAT-2000).
- Por otra parte, se realizaron perfiles de suelos en cada sitio donde se ubicaron las parcelas de escurrimiento, para comparar algunas propiedades físico-químicas de los diferentes sitios de muestreo, muestreando cada uno de los horizontes caracterizados, determinándose materia orgánica, conductividad eléctrica, nitrógeno y textura (NOM-021-RECNAT-2000).

### *Análisis estadístico*

El análisis de la varianza se empleó para determinar si el uso de suelo y vegetación, pendiente, altitud y sus interacciones influyen en la pérdida

Figura 3. Imagen representativa de una de las parcela de escurrimiento utilizadas en este estudio.





ISSN 0187-8336 •

de suelo y sus propiedades físico-químicas. Se aplicó la prueba de Kruskal-Wallis, en virtud de que los datos no tienen una distribución normal de acuerdo con la prueba de Shapiro-Wilk.

Se obtuvieron tres categorías de pendientes con base en los valores en los sitios de muestreo; se les aplicó una prueba de medias para obtener el intervalo de confianza (IC). Pendientes por debajo del IC son clase 1 (0%-5%), entre el IC clase 2 (5%-20%), por arriba del IC clase 3 (20%-66%). Mismo procedimiento se empleó para generar las clases de altitud, E1 (1 523-1 611 m), E2 (1 612-1 864 m) y E3 (1 865-2 219 m). En el análisis espacial y edición de mapas se utilizó *Quantum GIS 2.2*. Los análisis estadísticos se realizaron en *R* (R Core Team, 2014).

## Resultados y discusión

El MUSV que se generó, con la clasificación supervisada, tuvo un 65% de exactitud global. Los principales errores fueron al clasificar como pastizales (75% de error de omisión) otros tipos de vegetación y al no identificar agricultura de temporal donde sí está presente (80% de error de omisión). Sin embargo, el mapa predicho es mejor que el azar, pues sus intervalos de confianza de la exactitud global son de 63 a 66%.

El principal uso del suelo en la región de estudio es la agricultura de riego, con una superficie de 24 168 ha, seguido del pastizal con 17 437 ha, el matorral subtropical con 15 263 ha, el bosque de encino con 14 656 ha y la agricultura de temporal con una superficie de 6 371 ha (figura 4).

Un total de 18 parcelas de escurrimiento (figura 5) se distribuyeron en los diferentes usos de suelo y vegetación. En el cuadro 1 se muestran los resultados obtenidos de pérdida de suelo, materia orgánica, nitrógeno y otros macronutrientes, para el periodo julio-septiembre de 2012 (periodo de lluvias).



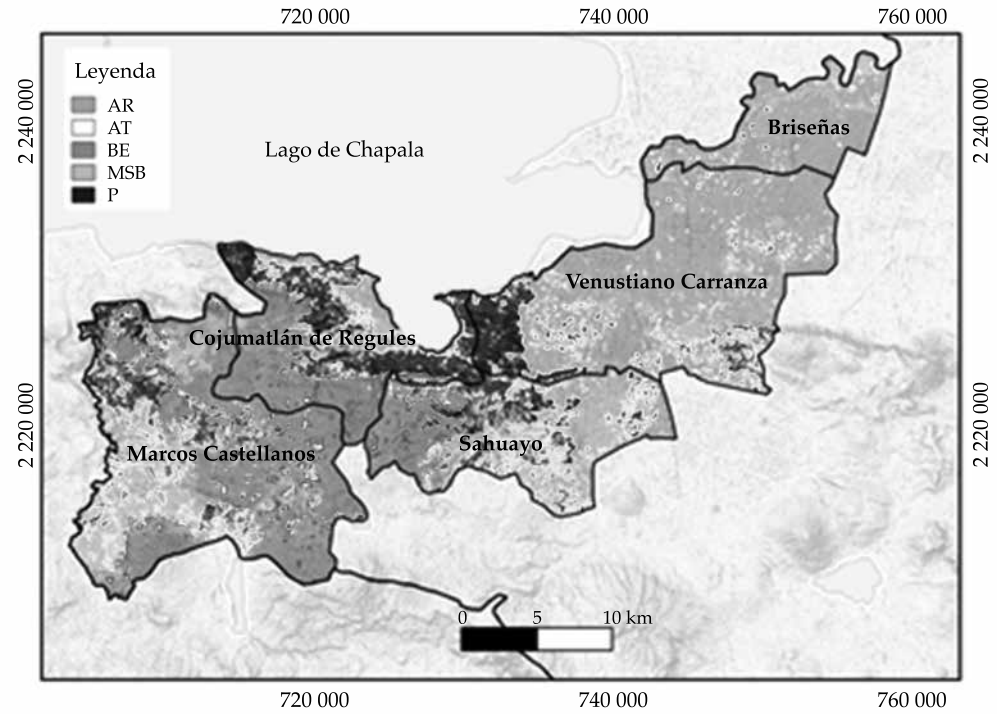


Figura 4. Principales usos de suelo y vegetación obtenidos. AR = agricultura de riego; AT = agricultura de temporal; BE = bosque de encino; MSB = matorral subtropical; P = pastizal.



• ISSN 0187-8336

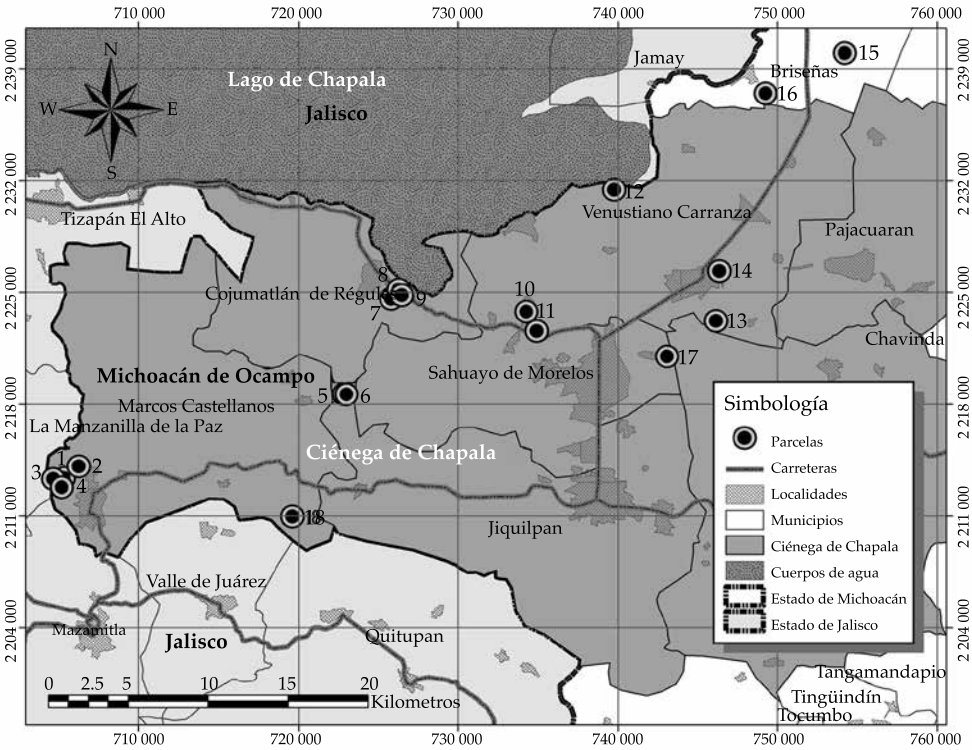


Figura 5. Localización de las 18 parcelas de escurrimiento dentro de la región de estudio.

Cuadro 1. Cuantificación de la pérdida de suelo y propiedades físico-químicas en la cuenca del lago de Chapala. Los valores de la segunda parte del cuadro se calcularon con el producto del valor de la superficie de la clase de uso de suelo y vegetación por el valor de la erosión y propiedades del suelo.

| Variable | AR | AT | BE | MSB | P |
|---|---|---|---|---|---|
| Superficie (ha) | 24 168.96 | 6 371.64 | 14 656.77 | 15 263.64 | 17 437.23 |
| Erosión (kg ha$^{-1}$) | 33.5 | 630.7 | 3.9 | 11.4 | 87.9 |
| MO (kg ha$^{-1}$) | 1.6372 | 24.5591 | 0.7738 | 1.7104 | 5.1790 |
| N (kg ha$^{-1}$) | 0.0655 | 0.9826 | 0.0310 | 0.0684 | 0.2071 |
| P (kg ha$^{-1}$) | 0.0021 | 0.1365 | 0.0004 | 0.0005 | 0.0013 |
| Ca kg ha$^{-1}$) | 0.1120 | 4.4825 | 0.0177 | 0.0365 | 0.6178 |
| Mg (kg ha$^{-1}$) | 0.0811 | 3.0062 | 0.0092 | 0.0172 | 0.2583 |
| Na (kg ha$^{-1}$) | 0.0230 | 0.3491 | 0.0017 | 0.0047 | 0.0376 |
| K (kg ha$^{-1}$) | 0.0861 | 2.1146 | 0.0153 | 0.0376 | 0.1497 |
| **Pérdida de suelo y propiedades físico químicas (*t*)** | | | | | |
| Erosión | 810 | 4 019 | 57 | 175 | 1 532 |
| MO | 40 | 156 | 11 | 26 | 90 |
| N | 1.6 | 6.3 | 0.5 | 1.0 | 3.6 |
| P | 0.05 | 0.87 | 0.01 | 0.01 | 0.02 |
| Ca | 2.71 | 28.56 | 0.26 | 0.56 | 10.77 |
| Mg | 1.96 | 19.15 | 0.13 | 0.26 | 4.50 |
| Na | 0.56 | 2.22 | 0.02 | 0.07 | 0.65 |
| K | 2.08 | 13.47 | 0.22 | 0.57 | 2.61 |

AR = agricultura de riego; AT = agricultura de temporal; BE = bosque de encino; MSB = matorral subtropical; P = pastizal; MO = materia orgánica.





ISSN 0187-8336 •

La mayor pérdida de suelo medida en kg ha$^{-1}$ se obtuvo donde se desarrolla la agricultura de temporal con 630.7, lo que representa una pérdida de hasta 4 019; en segundo término se destaca el pastizal con 87.9 y 1 532; la agricultura de riego con un valor de 33.5 y 810; en menor cantidad el bosque de encino con 3.9 y 57. De manera acumulada, la pérdida total de suelo asciende a 6 593.

La materia orgánica fue uno de los componentes del suelo que más se perdió durante el proceso de erosión hídrica; en las áreas con agricultura de temporal se registraron los máximos valores con 24.5 kg ha$^{-1}$, seguido de pastizales con 5.1 kg ha$^{-1}$, y en menor proporción el bosque de encino con 0.7 kg ha$^{-1}$. Los macronutrientes medidos en el sedimento muestran una relación directa con la pérdida de materia orgánica; los valores más altos registrados de N, P y K se obtuvieron en la agricultura de temporal con 0.98, 0.13 y 2.11 kg ha$^{-1}$, respectivamente.

Con los datos obtenidos de los estudios físico-químicos en los perfiles de suelos se realizó el correspondiente análisis de medias para uso de suelo y vegetación (figura 6). El mayor contenido de materia orgánica y nitrógeno total se registró en el bosque de encino y matorral subtropical, con más de 4 y 0.16%, respectivamente. Esto puede deberse a la velocidad de mineralización del carbono orgánico, más lento en áreas con vegetación natural en comparación con aquellos suelos cuya vegetación son pastizales o de uso agrícola (Zhao *et al*., 2014).



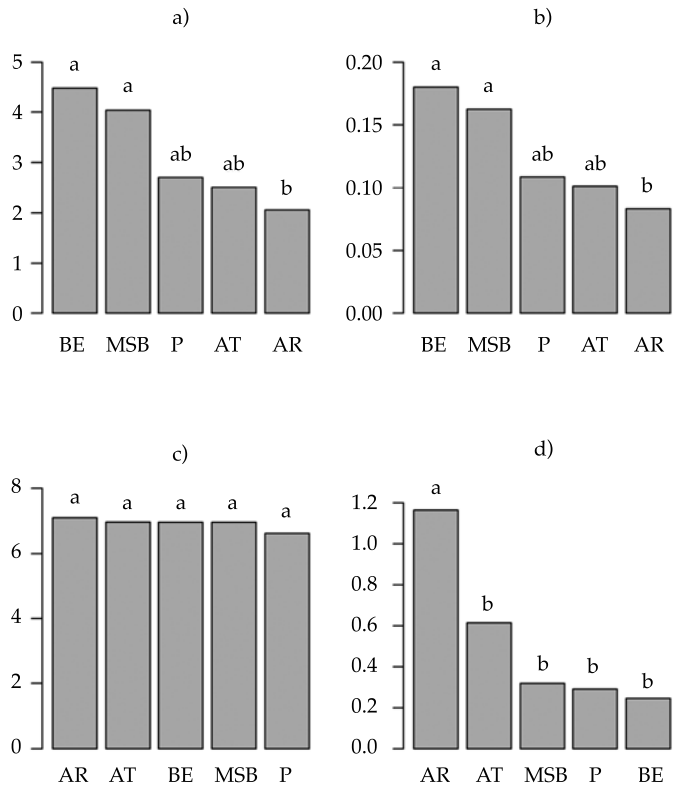


Figura 6. Medias de las propiedades de suelos, por uso de suelo y vegetación (perfiles de suelos); a) materia orgánica (%); b) nitrógeno total (%); c) pH; d) conductividad eléctrica (dS m-1). AR = agricultura de riego; AT = agricultura de temporal; BE = bosque de encino; MSB = matorral subtropical; P = pastizal.



• ISSN 0187-8336

En el matorral subtropical en general existe una mezcla de especies, resultando en mayor contenido de carbono orgánico, a diferencia de donde sólo existe una especie dominante (Maraseni & Pandey, 2014). Otro factor que influye en el contenido de carbono orgánico en el suelo es el pastoreo de ganado, porque afecta el equilibrio de su dinámica, provocando una disminución en la tasa neta anual de acumulación (Céspedes-Flores, Fernández, Gobbi, & Bernardis, 2012).

El pH de los suelos osciló entre 6.6 y 7.1, siendo los ocupados por pastizales los que registraron el menor valor y donde se presenta la agricultura de riego los de valor más alto. Los suelos con pH bajo se pueden deber al retorno de los nutrientes y acidificación por la densidad de raíces que contiene el pastizal (Zhao *et al*., 2014).

En general, la conductividad eléctrica en los suelos es menor a 1.0 dS $m^{-1}$, excepto donde se practica la agricultura de riego, que supera este valor. Ello se debe a que estos suelos son regados con aguas subterráneas, que tienen una conductividad eléctrica y relación de absorción de sodio mayor a 2.2 y 25, respectivamente, con-

Cuadro 2. Análisis de varianza (prueba Kruskal-Wallis) para evaluar la pérdida y propiedades físico-químicas de suelos (kg $ha^{-1}$). Los datos de propiedades físico-químicas corresponden a las determinadas en los sedimentos.

| Factores e interacciones | Pr > F | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **Erosión** | **MO** | **N** | **P** | **Ca** | **Mg** | **Na** | **K** |
| Elevación | 0.309 | 0.867 | 0.867 | 0.404 | 0.515 | 0.311 | 0.593 | 0.404 |
| Pendiente | 0.984 | 0.904 | 0.904 | 0.866 | 0.906 | 0.909 | 0.473 | 0.866 |
| USV | 0.125 | 0.278 | 0.278 | 0.154 | 0.267 | 0.152 | 0.090 | 0.154 |

USV = uso de suelo y vegetación; MO = materia orgánica.

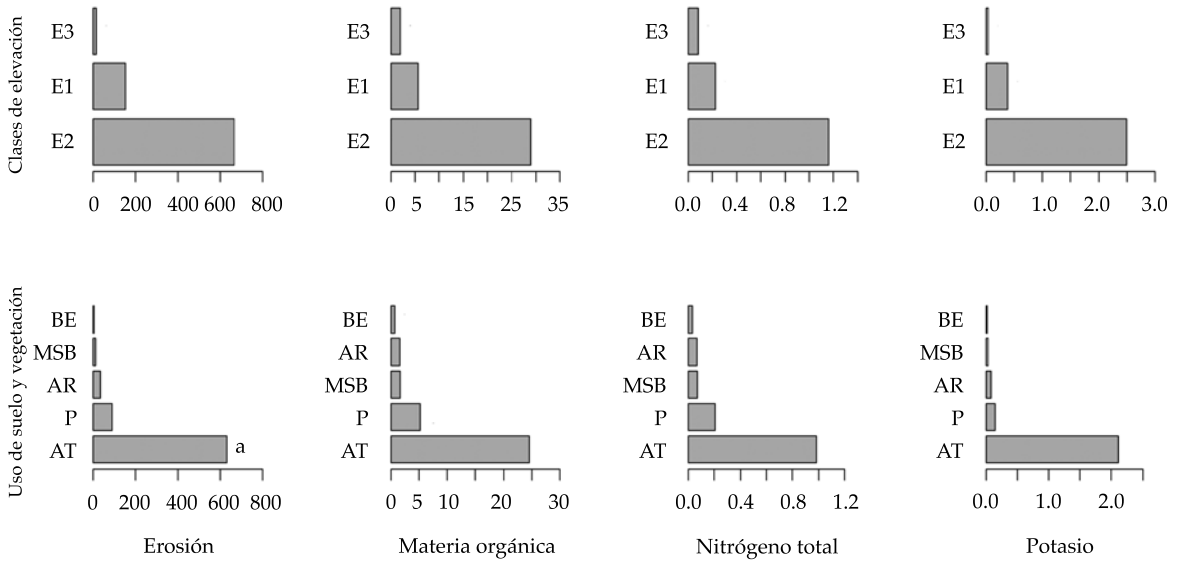


Figura 7. Promedios de los factores de erosión (t $ha^{-1}$), materia orgánica (t $ha^{-1}$), nitrógeno total (t $ha^{-1}$) y potasio (t $ha^{-1}$). Clases de elevación: E1 = 1 523-1611 m; E2 = 1 612-1 864 m; E3 = 1 865-2 219 m. Uso de suelo y vegetación: AR = agricultura de riego; AT = agricultura de temporal; BE = bosque de encino; MSB = matorral subtropical; P = pastizal.





ISSN 0187-8336 •

sideradas de muy mala calidad (Silva-García, Ochoa, Cristóbal, & Estrada, 2006).

El análisis de varianza muestra que no existe diferencia significativa en los factores de elevación, pendiente, uso de suelo y vegetación para la erosión y las propiedades físico-químicas del suelo; sin embargo, se realizó una evaluación del promedio de los factores de elevación, y uso de suelo y vegetación (*p-value* más bajo, cuadro 2) y algunas variables de suelo (figura 7).

En el rango de elevación de 1 612 a 1 864 m (E2) se origina la mayor cantidad de suelo erosionado y reducción en los valores de sus propiedades físico-químicas. El suelo que se erosiona es de 666 t $ha^{-1}$, de los cuales 29 son materia orgánica 1.2 nitrógeno total y 2.4 es potasio.

En la agricultura de temporal es donde se da la mayor erosión de suelo y reducción en los valores de sus propiedades físico-químicas por superficie, en comparación con el pastizal, agricultura de riego, matorral subtropical y bosque de encino. Los valores para la erosión, pérdida de materia orgánica, nitrógeno total y potasio son de 630.7, 24.5, 0.98 y 2.1 kg $ha^{-1}$, respectivamente.

La erosión del suelo es mayor en áreas con agricultura de temporal, porque es donde se tienen las mayores pendientes, lo cual facilita el transporte y depósito de partículas, además de no existir prácticas de conservación del mismo.

En áreas cubiertas por pastizales, la erosión se debe principalmente al sobrepastoreo existente, el cual no soporta su crecimiento adecuado, que permitiría la infiltración y retención del suelo por la superficie de la cubierta vegetal (Koulouri & Giourga, 2007).

La pérdida del componente orgánico en el suelo, además de afectar la disminución del rendimiento de los cultivos por la reducción de los nutrimentos como el nitrógeno, puede ocasionar impactos ecológicos relacionados con la contaminación, destrucción del hábitat ecológico y eutrofización (Vanmaercke *et al*., 2011).

## Conclusiones

La cuenca del lago de Chapala, porción Michoacán, México, se encuentra sujeta a procesos de pérdida de suelo por erosión hídrica, acelerados por la falta de prácticas agrícolas que consideren la conservación del mismo, siendo más perceptible en aquellas áreas donde se desarrolla la agricultura de temporal; aunado a lo anterior, en el transcurso del arrastre de sedimentos se presenta la pérdida de altos porcentajes de materia orgánica y macronutrientes del horizonte superior del suelo, más fértil que el subyacente, lo que influye en el detrimento de su productividad.

El uso y cobertura del suelo influye de manera notoria en el grado de impacto de los procesos erosivos por factores hídricos, pues los menores valores registrados de pérdida de suelo se presentaron en zonas donde la cobertura de vegetación es mayor, o bien donde la misma (bosques o matorral subtropical) permanece aún sin gran perturbación antropogénica. Lo anterior hace indispensable impulsar la implementación de prácticas de control de los procesos erosivos, contribuyendo así a la restauración ecológica de esta cuenca.

## Referencias

Barrios, E. (2007). Soil biota, ecosystem services and land productivity. *Ecological Economics*, *64*(2), 269-285, https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2007.03.004.

Céspedes-Flores, F., Fernández, J. A., Gobbi, J. A., Bernardis, A. C. (2012). Reservorio de carbono en suelo y raíces de un pastizal y una pradera bajo pastoreo. *Rev. Fitotec. Mex.*, *35*(1), 79-86.

Chávez, J. P. (1989). Radiometric calibration of Landsat thematic mapper multispectral images. *Photogramm. Eng. Remote Sens.*, *55*(9), 1285-1294.

Colegio de Postgraduados (1979). *Manual de conservación del suelo y del agua* (248 pp.). Chapingo, México: Colegio de Postgraduados.

Congalton, G. R. (1988). A comparison of sampling schemes used in generating error matrices for assessing the accuracy of maps generated from remotely sensed data. *Photogramm. Eng. Remote Sens.*, *54*(5), 593-600.

Cootler, H., Lopez, C. A., & Martinez-Trinidad, S. (2011). ¿Cuánto nos cuesta la erosión de suelos?: aproximación





• ISSN 0187-8336

a una valoración económica de la pérdida de suelos agrícolas en México. *Investigaciones Ambientales*, *3*(2), 31-43.

Cruz-Cárdenas, G., Ortiz, S. C. A., Ojeda, T. E, Martínez, M. J. F., Sotelo, R. E., & Licona, V. A. L. (2010). Evaluation of four digital classifiers for automated cartography of local soil classes based on reflectance and elevation in Mexico. *Int. J. Remote Sens.*, *31*(3), 665-679, http://dx.doi.org/10.1080/01431160902894491.

Duran, V., & Rodríguez, C. R. (2008). Soil-erosion and runoff prevention by plant covers. A review. *Agron. Sustain. Dev.*, *28*(1), 65-86, https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00886458.

FAO (1980). *Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos* (86 pp.). Roma: FAO.

Foody, G. M., Mathur, A., Sanchez-Hernandez, C., & Boyd, D. S. (2006) Training set size requirements for the classification of a specific class. *Remote Sens. Environ.*, *104*(1), 1-14, DOI: 10.1016/j.rse.2006.03.004.

GACGC (1994). *World transition. The threat to soils* (252 pp.) Bonn: Economica Verlag, GACGC.

García, L. R. (1983). Diagnóstico sobre el estado actual de la erosión en México. *Terra*, *1*, 11-21.

García, E. (1988). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen* (252 pp.). Serie Libros. México, DF: Universidad Nacional Autónoma de México. Recuperado de http://www.igeograf.unam.mx/sigg/utilidades/docs/pdfs/publicaciones/geo_siglo21/serie_lib/modific_al_sis.pdf.

IUSS Working Group (2006). *World reference base for soil resources* (2nd. ed.) (128 pp.). World Soil Resources Reports No. 103. Rome: FAO.

Hodgson, G., & Dixon, J. A. (1988). Measuring economic losses due to sediment pollution: Logging *versus* tourism and fisheries. *Tropical Coastal Area Management*, 3 (1), 5-8.

INEGI (2016). *Conjunto de datos vectorial edafológico, escala 1:250 000 Serie II (Continuo Nacional)*. Aguascalientes, México: INEGI. Consultado el 7 de enero de 2016. Recuperado de http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/recnat/edafologia/default.aspx

Koulouri, M., & Giourga, C. (2007). Land abandonment and slope gradient as key factors of soil erosion in Mediterranean terraced lands. *Catena*, *69*, 274-281.

Lal, R. (2003). Soil erosion and the global carbon budget. *Environ. Int.*, *29*, 437-450.

Maraseni, T. N., & Pandey, S. S. (2014). Can vegetation types work as an indicator of soil organic carbon? An insight from native vegetations in Nepal. *Ecol. Indic.*, *46*, 315-322.

Martínez-Casasnova, J. A., & Ramos, M. C. (2006). The cost of soil erosion in vineyard fields in the Penedes-Anoia Region (NE Spain). *Catena*, *68*,194-199.

Maass, J., Jordan, C., & Sarukhan, J. (1988). Soil erosion and nutrient losses in seasonal tropical agroecosystem under various management techniques. *The Journal of Applied Ecology*, *25*(2), 595-607.

NOM-021-RECNAT-2000 (2000). Establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreos y análisis. *Diario Oficial de la Federación*, 31 de diciembre, México, D. F.

Owens, P. N., Petticrew, E. L., & Van der Perk, M. (2011) Sediment response to catchment disturbances. *J. Soils Sediments*, *10*, 591-596, DOI: 10.1007/s11368-010-0235-1.

Pimentel, D., Allen, J., & Beers, A. (1993). Soil erosion and agricultural productivity. In: *World soil erosion and conservation*. Pimentel, D. (ed.). Cambridge: Cambridge University Press.

Pimentel, D. (2006). Soil erosion: A food and environmental threat. *Environment, development and sustainability*, *8*(1), 119-137.

R Core Team (2014). *R: A language and environment for statistical computing*. Vienna: R Foundation for Statistical Computing.

Semarnat-CP (2003). Evaluación de la degradación del suelo causada por el hombre en la república mexicana, Esc: 1: 250 000. Memoria Nacional 2001-2002 (68 pp.). México, DF: Semarnat-CP.

Silva-García, J. T., Ochoa, E. S., Cristóbal, A., D., & Estrada, G. F. (2006). Calidad química del agua subterránea de la Ciénega de Chapala como factor de degradación del suelo. *Terra Latinoamericana*, *24*(4), 503-513.

Stocking, M. (2003). Tropical soils and food security: The next 50 years. *Science*, 302(5649), 1356-1359, DOI: 10.1126/science.1088579.

Sturm, T. W. (2001). *Open channel hydraulics* (364 pp.). New York: McGraw Hill.

Tapia, L. M., Larios, A., Vidales, I., Hernández, A., Guerrero, A. A., & Oropeza, J. L. (2012). Rainfall simulation to evaluate erosion and hillslope runoff in two agricultural management systems in central Mexico. *Int. Res. J. Agric. Sci. Soil Sci.*, *2*(7), 267-275.

Tengberg, A., Stocking, M., & Dechen, S. (1998). Soil erosion and crop productivity research in South America (pp. 355-362). In: *Towards sustainable land use. Advances in geoecology I.* Blume, H. P., Eger, H., Fleischhauer, E., Hebel, A., Reij, C., & Steiner, K. G. (eds.). Reiskirchen, Germany: Catena-Verlag.

Vanmaercke, M., Poesen, J., Maetens, J., De Vente, J., & Verstraeten, G. (2011) Sediment yield as a desertification risk indicator. *Sci. Total Environ.*, *409*, 1715-1725.

Vázquez, A. V. (1986). La erosión y conservación de suelo en México. Realidades y perspectivas. *Terra*, *4*, 158-172.

Zhao, N. N., Guggenberger, G., Shibistova, O., Thao, D. T., Shi, W. J., & Li, X. G. (2014). Aspect-vegetation complex effects on biochemical characteristics and decomposability of soil organic carbon on the eastern Qinghai-Tibetan Plateau. *Plant Soil.*, *384*(1-2), 289-301.

## Dirección general de los autores

*Dr. José Teodoro Silva-García*
*Dr. Gustavo Cruz-Cárdenas*
*M.C. Salvador Ochoa-Estrada*
*Dr. Francisco Estrada-Godoy*
*Biól. Jaime Nava-Velázquez*
*Dra. Dioselina Álvarez-Bernal*

Instituto Politécnico Nacional
Centro Interdisciplinario de Investigación para el
Desarrollo Integral Regional, Unidad
Michoacán
Justo Sierra 28, 59510 Jiquilpan, Michoacán, México
Teléfono: +52 (353) 5330 218
jsilvag@ipn.mx
guscruz@ipn.mx
sochoae@ipn.mx
festradag@ipn.mx
jnava@ipn.mx
dalvarezb@ipn.mx





• ISSN 0187-8336